



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

LETECKÝ ÚSTAV

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

NÁVRH PODVOZKU SOUTĚŽNÍHO MODELU LETADLA

DESIGN OF A LANDING GEAR OF AN AIRPLANE COMPETITION KIT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Gebrlín

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Bartoněk

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Letecký ústav
Student: **Jakub Gebrlín**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Jaroslav Bartoněk**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh podvozku soutěžního modelu letadla

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Analýza použitelných koncepcí letadlového podvozku. Výběr optimálního uspořádání, konstrukční návrh a pevnostní výpočet.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Uveďte možné způsoby uspořádání podvozku pro danou velikost letadla
- 2) Porovnejte použití pevného a zatahovacího podvozku
- 3) Vybraný typ konstrukčně navrhnete a pevnostně dimenzujete

Seznam doporučené literatury:

ROSKAM, J.: Airplane Design, University of Kansas, 1990.

PAZMANY, L.: Landing Gear Design for Light Aircraft, Pazmany Aircraft Corporation, 1986.

CURREY, N.S.: Aircraft Landing Gear Design: Principles and Practices, AIAA, 1988.

BARTONĚK, J. Návrh zatahovacího podvozku pro letoun NG4. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011.

CHREN, T. Návrh podvozku pro letoun Rapid 600. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cieľom tejto bakalárskej práce je návrh podvozku súťažného modelu lietadla. Úvodná časť tejto práce je zameraná hlavne na rešeršné štúdiá podvozkov a ich následného porovnávania z hľadiska výhod a nevýhod pre nový súťažný model, a to ako z pohľadu usporiadania, tak i z pohľadu možnosti zasúvacieho alebo pevného podvozku. V druhej, praktickej časti sa práca zameriava na výpočet zaťaženia, pevnostný výpočet a dimenzovanie podvozku.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Usporiadanie podvozku, pevný podvozok, konštrukčný návrh, pevnostný rozbor

ABSTARCT

The purpose of this bachelor thesis is to design a landing gear for a competition model of aircraft. The introductory part of this work is focused mainly on study about landing gears and their comparison in terms of advantages and disadvantages for the new competition model both in terms of arrangement and in terms of sliding or fixed chassis. In the second, the practical part the work is focused on computation of load, the strength calculation and the design of chassis.

KEYWORDS

Arrangement of chassis, fixed landing gear, structural design, strength analysis

BIBLIGRAFICKÁ CITÁCIA

GEBRLÍN, Jakub. *Návrh podvozku soutěžního modelu letadla*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116808>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav. Vedoucí práce Jaroslav Bartoněk.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že túto bakalársku prácu na tému „Návrh podvozku súťažného modelu letadla“ som vypracoval samostatne, pod odborným vedením vedúceho bakalárskej práce Ing. Jaroslava Bartonka s použitím odbornej literatúry a prameňov uvedených v zozname použitých zdrojov.

V Brne dňa 23. mája 2019

.....

Jakub Gebrlín

POĎAKOVANIE

Rád by som sa touto cestou poďakoval svojmu vedúcemu bakalárskej práce Ing. Jaroslavovi Bartonkovi za odborné rady, trpezlivosť a vládny prístup počas tvorby tejto práce. Taktiež moje poďakovanie patrí všetkým členom tímu Chicken Wings. A nakoniec chcem poďakovať celej svojej rodine za trpezlivosť, pevné nervy a podporu počas doterajšieho štúdia.

OBSAH

ÚVOD.....	13
1. STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA SÚŤAŽE A SÚŤAŽNÉHO LIETADLA	14
1.1 Air Cargo Challenge (ACC) 2019.....	14
1.2 Popis súťažného modelu	15
2. ZÁKLADNÉ POŽIADAVKY KLADENÉ NA PODVOZKY RC MODELOV ...	17
3. VÝBER VHODNÉHO USPORIADANIA PODVOZKU	18
3.1 Podvozok s ostrohovým kolesom.....	18
3.2 Podvozok predného typu.....	18
3.3 Tandemový podvozok.....	19
4. POROVNANIE PEVNÉHO A ZAŤAHOVACIEHO PODVOZKU	20
4.1 Zaťahovací podvozok.....	20
4.1.1 Spôsoby zasúvania podvozku	21
4.1.2 Ďalšie možnosti zasunutia hlavného podvozku	22
4.2 Pevný podvozok	22
5. VÝSLEDNÉ RIEŠENIE PRE SÚŤAŽNÝ MODEL	23
5.1 Typ konečného usporiadania.....	23
5.2 Výber pevného podvozku	23
6. KONŠTRUKČNÝ NÁVRH PODVOZKU.....	24
6.1 Výpočet pozemného zaťaženia podľa predpisov CS-23	24
6.2 Zaťaženie lietadla na zemi	26
6.3 Spôsoby pristátia lietadla s ostrohovým podvozkom.....	26
6.3.1 Pristátie na dva body.....	26
6.3.2 Pristátie na tri body	27
6.4 Bočné zaťaženie podvozku pri pristátí.....	28
6.5 Zaťaženie podvozku pri brzdení	29
6.6 Zaťaženie na ostrohové koleso.....	29
7. PEVNOSTNÝ NÁVRH PODVOZKU	31
7.1 Výber materiálu.....	31
7.2 Pevnostné výpočty	31
7.2.1 Pevnostný výpočet ostrohového kolesa	31
7.2.2 Pevnostný výpočet hlavného podvozku.....	34
8. ZÁVER.....	41
ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	43

ZOZNAM JEDNOTIEK, SKRATIEK A ZNAKOV	45
ZOZNAM OBRÁZKOV.....	47

ÚVOD

Táto bakalárska práca sa zaoberá koncepčným návrhom podvozku súťažného modelu lietadla. Lietadlo je konštruované tímom ChickenWings v rámci súťaže Air Cargo Challenge 2019.

V prvej časti práce je venovaná pozornosť stručnému úvodu do problematiky súťaže a jej podmienok, od ktorých sa odvíjali následné rozhodnutia pri výbere výsledného riešenia návrhu.

V ďalšej časti je prevedená rešeršná štúdia o možnostiach výberu podvozku vhodného pre súťažný model. Táto časť sa zameriava prevažne na možné výhody a nevýhody či už usporiadania alebo možnosti voľby pevného a zasúvacieho typu podvozku. Od týchto bodov sa následne odvíja riešenie a celkový návrh podvozku.

Druhá časť práce sa zameriava prevažne na výpočty pevnosti, silových pôsobení a dimenzovanie podvozku. Z prvotných vstupov a rozhodnutí je vytvorený jeho návrh.

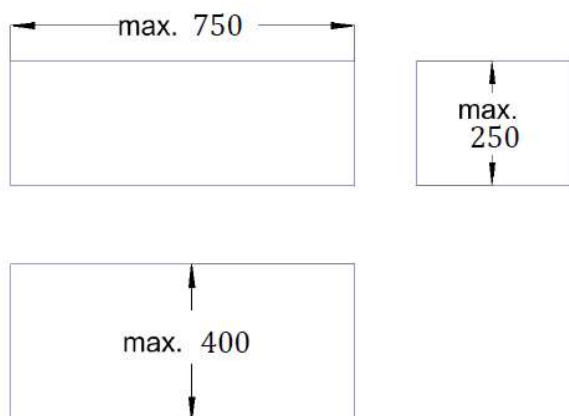
1. STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA SÚŤAŽE A SÚŤAŽNÉHO LIETADLA

1.1 Air Cargo Challenge (ACC) 2019

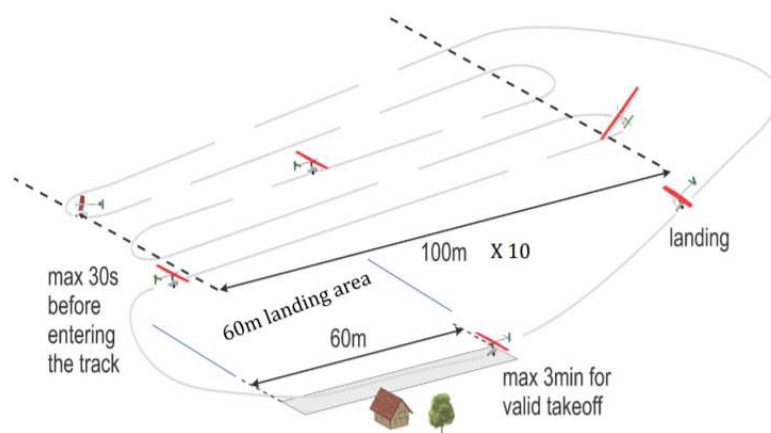
Air Cargo Challenge alebo v skratke aj ACC, je súťaž, ktorá sa koná každé dva roky, pričom usporiadateľská krajina sa vždy mení, a to v závislosti od posledného víťazcu súťaže. V tomto roku je usporiadateľským štátom Nemecko. [5]

Základné pravidlá pre rok 2019

Základnou podmienkou pre splnenie požiadaviek pravidiel je, že vytvorený model musí v priebehu čo najkratšieho času zaletieť vzdialenosť 1000 metrov, ktorá je popísaná v letovom pláne (obr. 2.2.), pričom musí previezť čo najväčšiu záťaž. Tá je zložená z dosiek o určitej hmotnosti, ktoré musia byť vložené do lietadla priamo na vzletovej dráhe a to v čo najkratšom čase. Druhou podmienkou je rozložiteľnosť lietadla. Súťažný model musí byť rozoberateľný na jednotlivé segmenty a to tak, aby sa zmestil do prepravného boxu, ktorý má predom zadané rozmery usporiadateľmi súťaže. [5]



Obr. 1.1 Rozmery prepravného boxu [5]



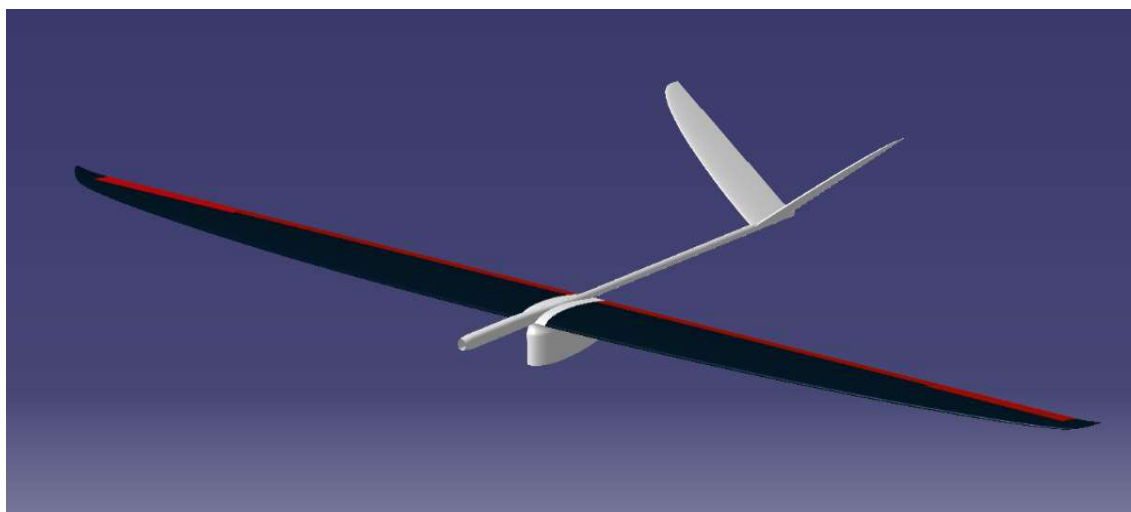
Obr. 1.2 Letový plán [5]

1.2 Popis súťažného modelu

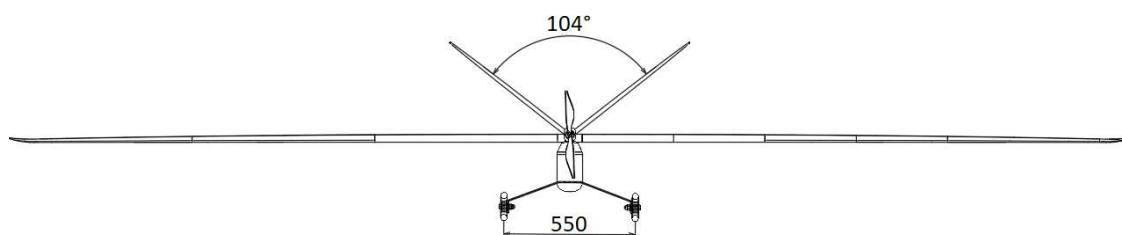
Súťažný model lietadla je navrhnutý a konštruovaný len pre vyššie spomínané potreby súťaže.

Tab. 1.1 Základné parametre modelu [12]

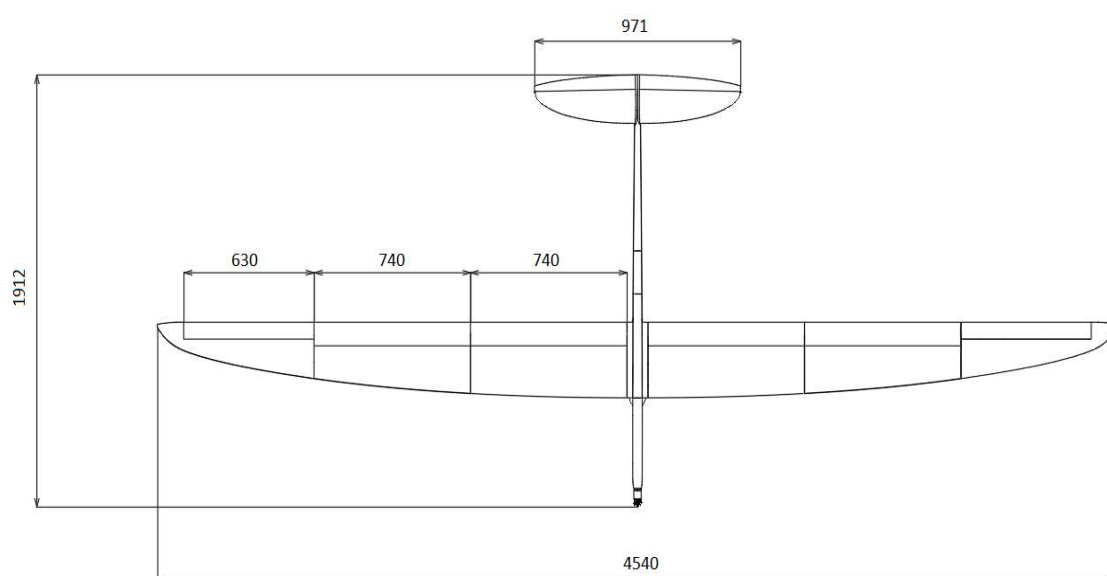
Rozmery	
Výška	0,733 <i>m</i>
Dĺžka	1,912 <i>m</i>
Rozpätie krídel	4,54 <i>m</i>
Plocha krídel	1,18 <i>m</i> ²
Hmotnosti	
Maximálna vzletová hmotnosť	14 <i>kg</i>
Hmotnosť prázdneho lietadla	4 <i>kg</i>
Pohonná jednotka	
Motor	AXI Gold 2826/10
Maximálny výkon	740 <i>W</i>
Rýchlosti	
Maximálna rýchlosť s vysunutými klapkami	118,58 <i>km/h</i>
Cestovná rýchlosť	72 <i>km/h</i>
Pádová rýchlosť	43,93 <i>km/h</i>



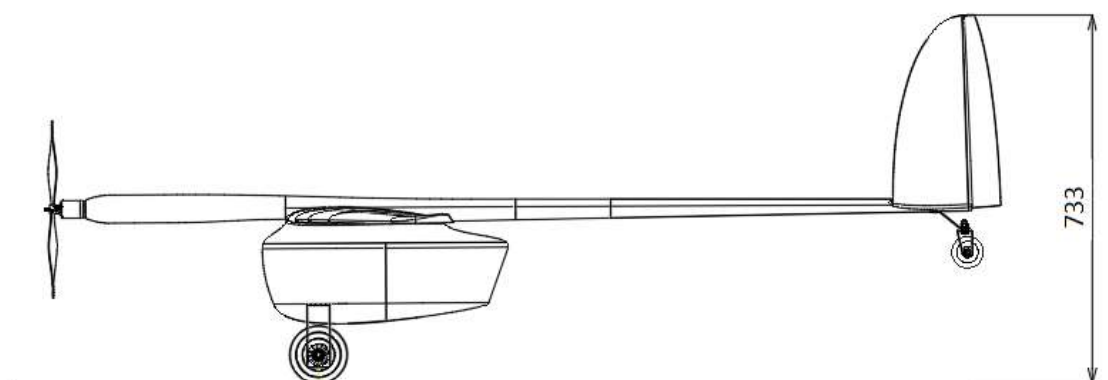
Obr. 1.3 Model súťažného lietadla



Obr. 1.4 Muška lietadla (predný pohľad - upravené) [12]



Obr. 1.5 Muška lietadla (pohľad z vrchu) [13]



Obr. 1.6 Muška lietadla (pohľad z boku - upravené) [12]

2. ZÁKLADNÉ POŽIADAVKY KLADENÉ NA PODVOZKY RC MODELOV

- Malá hmotnosť – podvozok by mal byť konštrukčne riešený tak, aby mal čo najmenšiu hmotnosť a pritom zachoval svoju pevnostnú odolnosť. Tá musí byť dostatočná a to pri rôznych druhoch zaťažovania, aby podvozok ostal bez poruchy.
- Tlmiaca schopnosť – toto kritérium by mal spĺňať každý RC model, vzhľadom na to, že nie všetky štarty a pristátia sú prevádzané na rovnej ploche. Vďaka tejto vlastnosti je lietadlo chránené pred nepriaznivými vplyvmi pristátia, ako sú rázy, ktoré môžu poškodiť krehké miesta v celej konštrukcii lietadla. Všeobecne čím väčšie tlmenie podvozok má, tým je menšie zaťaženie podvozku s menšími rozmermi a hmotnosťou.
- Ľahko aplikovateľný - pripevnenie podvozku k modelu by malo byť ľahké a malo by sa prevádzať bez najmenších problémov, aby užívateľ musel čo najmenej zasiahnuť pri montáži do konštrukcie modelu. Celkovo podvozok by mal čo najmenej zasahovať do konštrukcie lietadla. Táto zásada platí najmä pre podvozky vyrábané sériovo vo firmách.
- Ľahká ovládateľnosť – záleží od formy podvozku, či je zaťahovací alebo pevný. Pre oba typy však je potrebné, aby bol ku všetkým ich častiam dobrý prístup pre prípadné odstránenie porúch. Pokiaľ však hovoríme o zaťahovacích podvozkoch, je nutné pripojenie ovládaných prvkov podvozku k riadiacemu centru, akými sú servomotor alebo hydraulické valce, tak, aby bolo prepojenie čo najjednoduchšie. V prípade poruchy bude teda manipulácia pri oprave taktiež jednoduchšia. Rovnako dôležitý je aj priestor pre zatiahnutie kolies, ten by mal byť dostatočne veľký.
- Suma – cenová hladina podvozku by sa mala pohybovať na rozumnom rozmedzí, vzhľadom na to, že modelárstvo je finančne pomerne náročné. Teda nemala by presiahnuť približne 50 - 60% sumy celého modelu lietadla. [4] [9] [10]

3. VÝBER VHODNÉHO USPORIADANIA PODVOZKU

Z koncepčného hľadiska môžeme typy podvozkov, či už modelárskych RC modelov alebo skutočných lietadiel rozdeliť do troch základných kategórií, a to podvozok s ostrohou, podvozok predného typu a tandemový podvozok, pričom posledný menovaný je pre nás z hľadiska použitia nevýhodný. [9]

3.1 Podvozok s ostrohovým kolesom

Hlavným znakom tohto usporiadania je poloha hlavného podvozku bezprostredne pred ťažiskom lietadla, pričom ostroha je umiestnená v zadnej časti pod chvostom. 6 – 10% z celkového zaťaženia lietadla pripadá práve na ostrohu, ktorá sa nachádza pod chvostom. Ostatných, približne 90% teda preberá hlavný podvozok skladajúci sa z dvoch kolies. Postoj lietadla na zemi je charakteristický sklonom pozdĺžnej osi. K veľkým nevýhodám z pohľadu pre RC modely je najmä náročná pilotáž v počiatočnej fáze letu, kedy pri vzlete na lietadlo pôsobí veľký aerodynamický odpor. Ďalej sem môžeme zaradiť nestabilitu, taktiež náročnú pilotáž v záverečnej fáze pri pristávaní a brzdení, kedy vzniká klopiaci moment na hlavu. Ten má pri nesprávnom pristátí za následok prevrátenie lietadla na nos. Medzi výhody patrí jeho nízka hmotnosť a v porovnaní s vysunutým podvozkom aj jeho nižší aerodynamický odpor. [6] [9] [10] [1]



Obr. 3.1 Lietadlo s ostrohovým kolesom C-39 [16]

3.2 Podvozok predného typu

Hlavný podvozok je umiestnený v malej vzdialenosti za ťažiskom lietadla. V prednej časti je umiestnené tzv. príďové kolo. To má v porovnaní s ostrohovým kolom väčšiu hmotnosť. Kvôli menšiemu rozpätiu je podvozok predného typu viac staticky zaťažený ako ostrohovový.

V súčasnosti je tento typ podvozku najčastejšie využívaným. Oproti predchádzajúcemu typu má príďový podvozok mnoho viac plusov. Z hľadiska pristátia a vzletu je lietadlo oveľa lepšie ovládateľné. Ponúka tiež oveľa väčšiu stabilitu a vzhľadom na prednú nohu

nehrozí prevrátenie na nos lietadla. [6] [9]



Obr. 3.2 Podvozok predného typu PC-7 [17]

3.3 Tandemový podvozok

Usporiadanie tandemového podvozku pozostáva z hlavného podvozku, ktorý tvorí zadné koleso alebo sústava kolies, a z predného kolesa, poprípade opäť sústavy kolies. Predná noha je otočná a napomáha pri riadení lietadla na zemi. Aby však lietadlo bolo stabilné, je podvozok vybavený ešte opornými kolesami, ktoré sa nachádzajú na každej strane krídla, presnejšie na konci každej polovice krídla. [6]



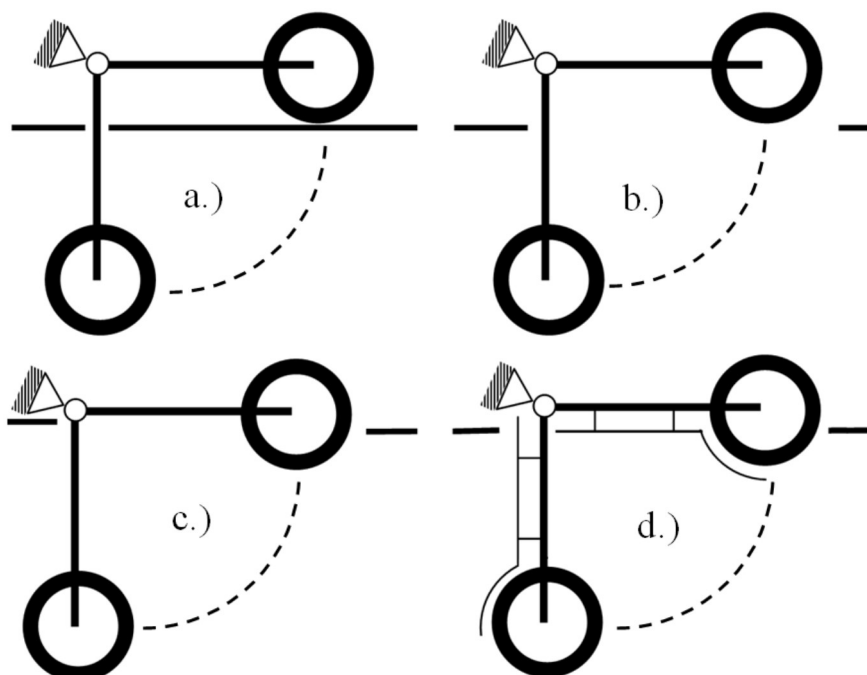
Obr. 3.3 Tandemový podvozok B-52 [18]

4. POROVNANIE PEVNÉHO A ZAŤAHOVACIEHO PODVOZKU

4.1 Zaťahovací podvozok

Zasúvacie alebo inak aj zaťahovacie podvozky možno rozdeliť do rôznych úrovní zatiahnutia, ako môžeme vidieť na obr. 5.1. [4]

- a.) úplné zatiahnutie kolies a následné uzavretie
- b.) úplné zatiahnutie kolies bez uzavretia
- c.) čiastočné zatiahnutie kolies
- d.) čiastočné zatiahnutie kolies s aerodynamickým krytom

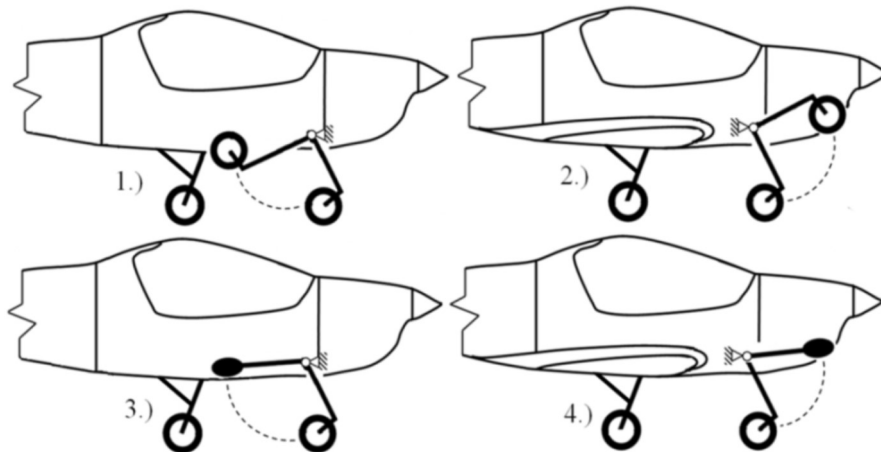


Obr. 4.1 Typy zasunutia podvozku [4]

4.1.1 Spôsoby zasúvania podvozku

Zasunutie prednej nohy podvozku

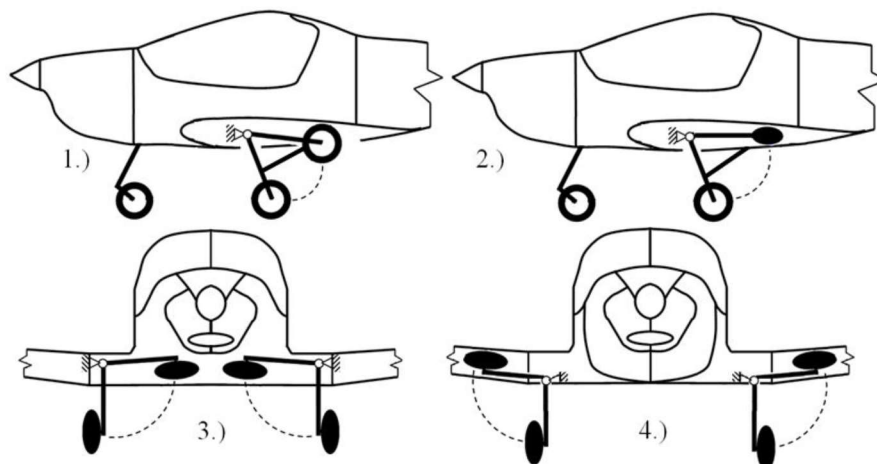
- 1.) zatahnutie dozadu
- 2.) zatahnutie dopredu
- 3.) zatahnutie dozadu s vybočením do strany
- 4.) Zatahnutie dopredu s vybočením do strany



Obr. 4.2 Zasúvanie predného podvozku [4]

Zasunutie hlavného podvozku

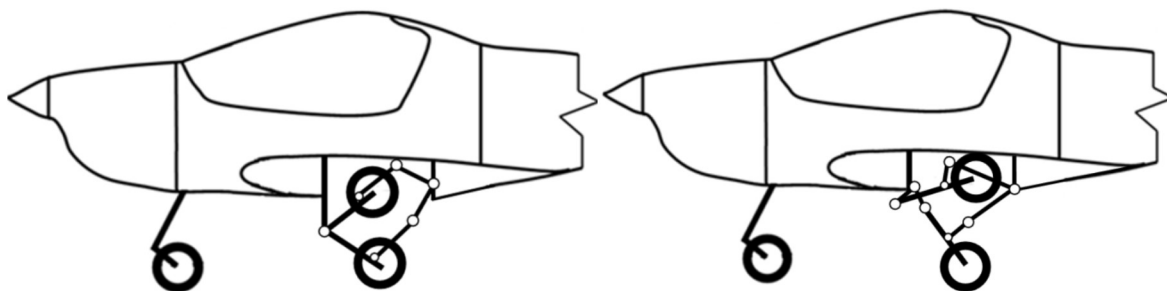
- 1.) Zasunutie dozadu
- 2.) Zasunutie dozadu s natočením o 90°
- 3.) Zasunutie k osi súmernosti lietadla
- 4.) Zasunutie od osi súmernosti lietadla



Obr. 4.3 Zasúvanie hlavného podvozku [4]

4.1.2 Ďalšie možnosti zasunutia hlavného podvozku

Na obrázku môžeme vidieť ďalšie dva spôsoby, ktorými môžeme hlavný podvozok zasúvať.



Obr. 4.4 Ďalšie možnosti zasúvania hlavného podvozku [4]

Na pravej strane obr.5.13 je vidieť zasunutie podvozku medzi hlavný a pomocný nosník centroplánu. Podvozok sa zloží medzi oba nosníky. Využitie takéhoto skladania nájdeme hlavne pri dopravných lietadlách.

Obr. 513 vľavo nám vyobrazuje skladanie hlavného podvozku pomocou zadnej zlomenej vzpery, ktorá obsahuje tlmič. [4]

Zasúvanie ostroho kolesa sa neprevádza. To ostáva počas celého letu vysunuté, pretože má charakter pevného podvozku a je teda pripevnené k draku lietadla.

Priestory na zloženie podvozku sa väčšinou nachádzajú v predom vytvorených priestoroch drakov alebo krídel lietadla. Táto varianta podvozku je využívaná najmä kvôli zníženiu aerodynamického odporu počas letu, z nej následne vyplýva vyššia letová rýchlosť a tým pádom aj oveľa vyšší dolet v porovnaní s lietadlami, ktoré používajú pevný podvozok. Rovnako však má aj svoje nevýhody a to hlavne vyššiu pozornosť a náročnosť pri údržbe zasúvacieho systému. Taktiež v porovnaní s pevným podvozkom oveľa viac zvyšuje hmotnosť celého lietadla vzhľadom k zložitosti a množstvu systémov potrebných pre jeho ovládanie. [4] [9]

4.2 Pevný podvozok

Ako už bolo vyššie spomínané, najviac znevýhodňujúcim faktorom tohto typu je práve aerodynamický odpor, ktorý počas letu podvozok vytvára. Práve preto sú mnohé lietadlá vybavené aerodynamickými krytmi kolies a krytmi podvozkových nôh. Z hľadiska množstva minútého paliva sú teda takéto lietadlá na tom oveľa horšie. [2] [4] [9]

5. VÝSLEDNÉ RIEŠENIE PRE SÚŤAŽNÝ MODEL

5.1 Typ konečného usporiadania

Z hľadiska výhod a nevýhod možných typov usporiadania podvozkov je pre súťažný model lietadla najlepšou možnosťou podvozok s ostrohovým kolesom. Najväčší vplyv na návrh podvozku mala hmotnosť. Keďže je snaha lietadlo skonštruovať tak, aby bolo schopné uniesť čo najväčšiu záťaž za čo najkratší čas. Taktiež vychádzame aj z predpokladov kladených na podvozky RC modelov. V neposlednej rade je dôležité podotknúť fakt, že pokiaľ by bol zvolený podvozok predného typu, problémom by bolo umiestnenie prednej nohy podvozku.

5.2 Výber pevného podvozku

Pre súťažné lietadlo bude zvolený pevný podvozok. Aj keď je snaha dosiahnuť počas letu čo najvyšších rýchlostí, pre ťažiaci podvozok nemáme dostatok priestoru. Pre potreby zasunutia do draku lietadla nie je trup dostatočne priestorovo vybavený. Tvorený je len štíhlým trubkovým profilom. Vzhľadom na to, že súťažný model je hornoplošník, zasúvanie podvozku do priestoru krídla je taktiež nemožné. Veľký vplyv na konečné rozhodnutie mal najmä čas pripojenia podvozku lietadla pred samotným štartom.

Volený typ podvozku:

- Podvozok s ostrohou
- Neriaditeľný
- Pevný
- Neodpružený

6. KONŠTRUKČNÝ NÁVRH PODVOZKU

6.1 Výpočet pozemného zaťaženia podľa predpisov CS-23

V tejto kapitole je potrebné vyriešenie prevádzkových síl na hlavnú časť podvozku a ostrohové koleso. Je dôležité spomenúť, že požiadavky nachádzajúce sa v nasledujúcich odstavcoch musia byť splnené pre maximálnu návrhovú hmotnosť. V tejto kapitole boli poznatky čerpané zo stavebného predpisu CS-23. [7] [8]

Stanovenie rýchlosti klesania

Podľa Hlavy C hovoriacej o podmienkach pozemného zaťaženia, odstavca CS23.473 nesmie byť zvolený prevádzkový násobok zaťaženia zvislými zotrvačnými silami v ťažisku lietadla menší než násobok, ktorý vznikol pri pristávaní rýchlosťou klesania rovnajúci sa $4,4 (W/S)^{1/4}$. Vstupné hodnoty sú prepočítané do anglo-amerických jednotiek.

$$M = 14 \text{ kg} = 30,86 \text{ lb}$$

$$S = 1,18 \text{ m}^2 = 12,7 \text{ ft}^2$$

Vypočítaná rýchlosť klesania by sa podľa predpisu mala pohybovať v rozmedzí od 2,1 m/s do 3,0 m/s. Nižšiu hodnotu intervalu rýchlosť nesmie prekročiť.

$$v_y = 4,4 \cdot \sqrt[4]{\frac{M}{S}} = 5,49 \frac{\text{ft}}{\text{s}} = 1,68 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad [4] \text{ (6.1)}$$

Z výsledku vidieť, že rýchlosť klesania súťažného lietadla sa nepohybuje v rozmedzí intervalu. Dôležité je podotknúť fakt, že model je určený len na súťaž a konštruovaný len so zámerom splnenia podmienok pravidiel súťaže. V ďalších výpočtoch však budeme uvažovať o hodnote rýchlosti klesania 2,1 m/s. [7]

Vztlak lietadla počas pristátia

Predpokladá sa, že počas pristávacieho nárazu pôsobí vztlak krídel, ktorý nepresahuje $2/3$ hmotnosti lietadla pôsobiacej v ťažisku. [3] [7]

$$L = \frac{2}{3} \cdot m \cdot g = \frac{2}{3} \cdot 14 \cdot 9,81 = 91,56 \text{ N} \quad [7] \text{ (6.2)}$$

Stlačenie tlmiacej sústavy

$y_{PN} = 0,0025m$ – stlačenie pneumatiky

$y_{TL} = 0,005m$ – stlačenie tlmiča

$y = y_{PN} + y_{TL} = 0,0075m$ – celkové stlačenie sústavy

Stlačenia pneumatiky ako aj stlačenie tlmiča sú len odhadované hodnoty.

Účinnosť tlmiča:

Existujú dve varianty tlmenia, kde súčiniteľ stlačiteľnosti sa rovná:

- $\eta = 0,5$ – platí pre tlmenie pneumatika + gumové pružiny
- $\eta = 0,65$ – platí pre pneumatiky + hydraulické tlmiče

Tlmenie pre súťažný model $\eta = 0,5$

Súčiniteľ účinnosti tlmenia

$$y_{ef} = 0,5 \cdot y_{PN} + 0,5 \cdot y_{TL} = 0,5 \cdot 0,0025 + 0,5 \cdot 0,005 = 0,00375m$$

Násobok od zotrvačných síl

$$n_p = \frac{0,0132 \cdot \sqrt{\frac{m \cdot g}{S}} + \frac{y}{3}}{y_{ef}} = 38,64 \quad [12] \quad (6.3)$$

Prevádzkový násobok zatťaženia v ťažisku

$$\begin{aligned} n_{pr} &= n_p + \frac{2}{3} = 39,31 \\ n_{pr} &> 2 \Rightarrow 39,31 > 2 \end{aligned} \quad [12] \quad (6.4)$$

Celková energia pristávania

$$\begin{aligned} E_C &= E_k + E_P = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_y^2 + \frac{1}{3} \cdot m \cdot g \cdot y \\ E_C &= \frac{1}{2} \cdot 14 \cdot 2,1^2 + \frac{1}{3} \cdot 14 \cdot 9,81 \cdot 0,0075 = 31,21 J \end{aligned} \quad [3] \quad (6.5)$$

Sila v podvozkových nohách

$$F_P = \frac{E_C}{y_{ef}} = 8322,67 N \quad [3] \quad (6.6)$$

Násobok v ťažisku lietadla

$$F_p = \frac{E_c}{y_{ef}} = 8322,67 \text{ N} \quad [3] \quad (6.7)$$
$$n_T > 2,67 \Rightarrow 60,6 > 2,67$$

6.2 Zatáženie lietadla na zemi

Hovorí o pôsobení síl na podvozok lietadla pri statickom zaťažení, teda na podvozok pôsobia len hmotnostné sily lietadla, ktoré sú rozložené do 3 bodov. Vzťahy pre výpočet boli použité z literatúry. [3] [4] [7] [11]

$$G = m \cdot g = 14 \cdot 9,81 = 137,34 \text{ N} \quad (6.8)$$

Pričom platí silová rovnováha

$$G = F_{hl} + F_o \quad (6.9)$$

Zatáženie ostrohového kola

$$F_o = \frac{l_n}{l} \cdot G = \frac{0,1195}{1,323} \cdot 137,34 = 12,41 \text{ N} \quad (6.10)$$

Zatáženie hlavného podvozku

$$F_{hl} = \frac{l_o}{l} \cdot G = \frac{1,2035}{1,323} \cdot 137,34 = 124,93 \text{ N} \quad (6.11)$$

Zatáženie jednej nohy hlavného podvozku

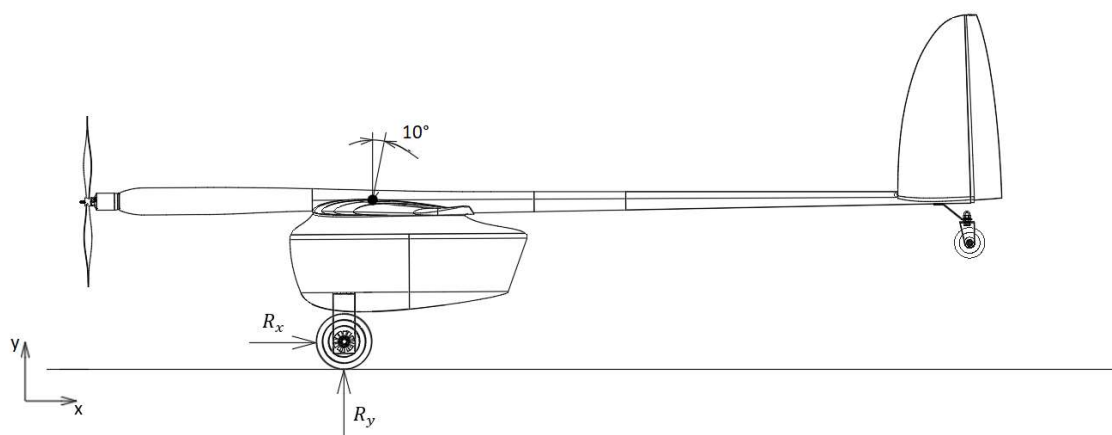
$$F_{hl1} = \frac{F_{hl}}{2} = \frac{124,93}{2} = 62,465 \text{ N} \quad (6.12)$$

6.3 Spôsoby pristátia lietadla s ostrohovým podvozkom

Pri vodorovnom pristávaní lietadla s ostrohovým kolesom sa predpokladá, že počas tohto manévru bude mať normálnu polohu vodorovného letu. Spôsoby pristátia sú charakterizované pristávaním na dva body alebo pristátím na tri body. [7] [11]

6.3.1 Pristátie na dva body

Pri pristávaní na dva body sa lietadlo nachádza vo vodorovnej polohe a na zem ako prvý dosadá hlavný podvozok, ako to možno vidieť na obr. 6.2. Pri postupnom znižovaní rýchlosti sa k nemu pripojí aj ostrokové koleso. [7] [11]



Obr. 6.1 Pristátie na dva body (upravené) [12]

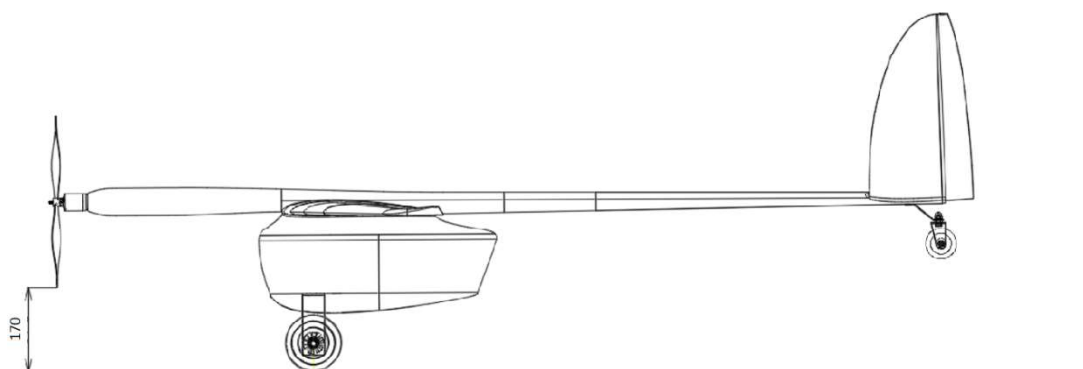
Silové reakcie podvozku

$$R_x = 0,25n_{pr} \cdot G = 1349,71 \text{ N} \quad [11] \quad (6.13)$$

$$R_y = n_p \cdot G = 5306,82 \text{ N} \quad [11] \quad (6.14)$$

Kontrola vzdialenosti vrtule

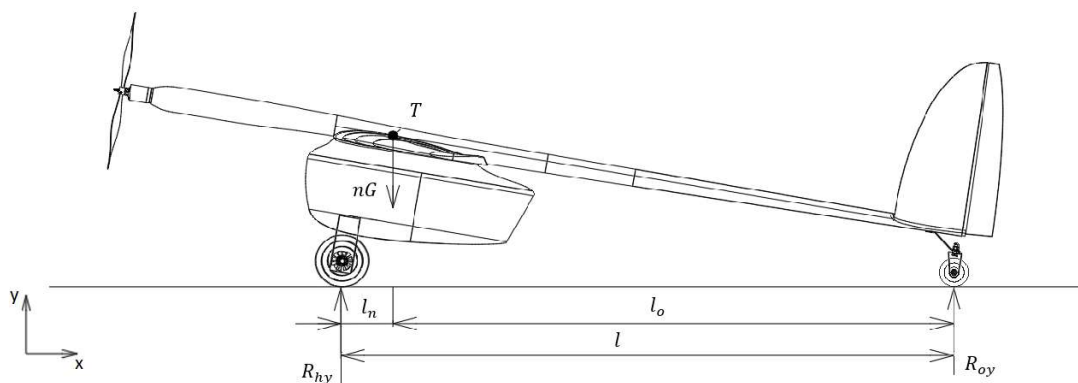
Bezpečnostná kontrola vzhľadom na vrtuľu pri vodorovnom pristátí na dva body.



Obr. 6.2 Kontrola vzdialenosti vrtule (upravené) [12]

6.3.2 Pristátie na tri body

Pri pristávaní na tri body je charakteristická poloha lietadla zobrazená na obr. 6.5, kde taktiež môžeme vidieť zakótované vzdialenosti potrebné k výpočtu. V tomto stave pristávania na hlavný podvozok a ostrokové koleso je dosadnutie zeme súčasné. [7] [11]



Obr. 6.3 Pristátie na tri body (upravené) [12]

Vzdialenosti:

$$l = 1323 \text{ mm}$$

$$l_n = 119,5 \text{ mm}$$

$$l_o = 1203,5 \text{ mm}$$

Silové reakcie podvozku

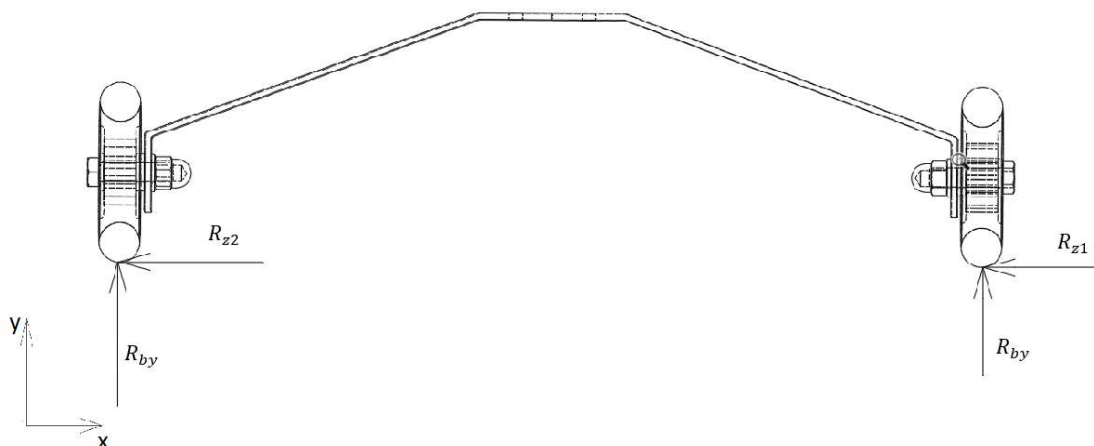
$$R_{hy} = R_y \cdot \frac{l_o}{l} = 1341,71 \cdot \frac{1203,5}{1323} = 1220,52 \text{ N} \quad [11] \quad (6.15)$$

$$R_{oy} = R_y \cdot \frac{l_n}{l} = 1341,71 \cdot \frac{119,5}{1323} = 121,19 \text{ N} \quad [11] \quad (6.16)$$

6.4 Bočné zaťaženie podvozku pri pristátí

Pri bočnom zaťažení sa lietadlo nachádza vo vodorovnej polohe, pričom zeme sa dotýka len hlavný podvozok. Podľa predpisov CS 23.485 musí byť hodnota prevádzkového násobku zvislého zaťaženia 1,33. Ďalej sa v predpisoch uvádza, že prevádzkový násobok bočných zotrvačných síl musí mať hodnotu 0,83, pričom táto hodnota je rozdelená medzi kolesá hlavného podvozku a to v pomere: [7] [11]

- 0,5 pôsobí dovnútra na jednej strane
- 0,33 pôsobí von na druhej strane



Obr. 6.4 Pôsobenie síl bočného zaťaženia

$$R_{by} = \frac{n_z \cdot m \cdot g}{2} = \frac{1,33 \cdot 14 \cdot 9,81}{2} = 91,33N \quad [11] \quad (6.17)$$

$$R_{z1} = n_{0,5} \cdot m \cdot g = 0,5 \cdot 14 \cdot 9,81 = 68,67N \quad [11] \quad (6.18)$$

$$R_{z2} = n_{0,33} \cdot m \cdot g = 0,33 \cdot 14 \cdot 9,81 = 45,32N \quad [11] \quad (6.19)$$

6.5 Zaťaženie podvozku pri brzdení

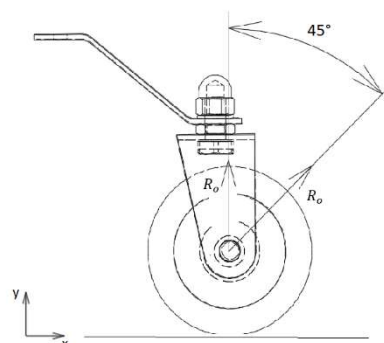
S ohľadom na to, že podvozok súťažného modelu nie je vybavený brzdovým systémom, sa táto časť výpočtu nebude prevádzať.

6.6 Zaťaženie na ostrohoové koleso

Pokiaľ sa snažíme stanoviť pozemné zaťaženie pre ostrohoové kolesá a ich nosné konštrukcie, tak je podľa normy CS 23.479 nutné zvažovať, že:

- zaťaženie, ktoré pôsobí od prekážky, spôsobuje prevádzkové reakcie od zeme, tie vznikajú pri veľkých uhloch nábehov. Smer ich pôsobenia je pod uhlom 45° v smere dozadu a nahor. Obr. 6.2

$$R_o = 121,19 N$$

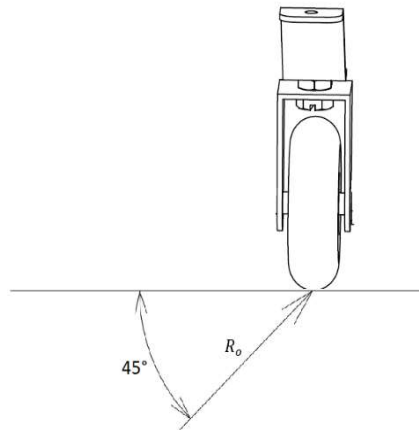


Obr. 6.5 Zaťaženie na ostrohoové koleso

- pri bočnom zaťažení sa predpokladá, že prevádzková zvislá reakcia zeme je rovná statickému zaťaženiu na ostrohovom kolese. Toto zaťaženie sa zvažuje v kombinácii s bočnou zložkou rovnakej veľkosti. [7] [11]

Reakcia bočného zaťaženia

$$R_o = G \cdot \frac{l_n}{l} = 14 \cdot 9,81 \cdot \frac{0,1195}{1,323} = 12,41N \quad [11] \quad (6.20)$$



Obr. 6.6 Bočné zaťaženie na ostrohové koleso

7. PEVNOSTNÝ NÁVRH PODVOZKU

7.1 Výber materiálu

Vzhľadom na zníženie hmotnosti podvozku a zároveň zachovanie jeho odolnosti a pevnosti bol za hlavný materiál zvolený dural, teda zliatina medi, hliníku a horčíku. Na výrobu hlavného podvozku je volený superdural. Hlavný podvozok je vyrábaný z pásov o rozmeroch 15x100x1000 mm a pre ostrohovú časť pásnice o rozmeroch 4x45x1000 mm.

7.2 Pevnostné výpočty

7.2.1 Pevnostný výpočet ostrohového kolesa

Na ostrohovom kolese je prevedená kontrola esovito zahnutej pásnice. Výpočet je prevedený pomocou klasických metód pružnosti a pevnosti.

Fyzikálne vlastnosti použitého materiálu

Základný materiál AlCu4Mg (ČSN 424201)

Mez pevnosti - $R_m = 360 \text{ MPa}$

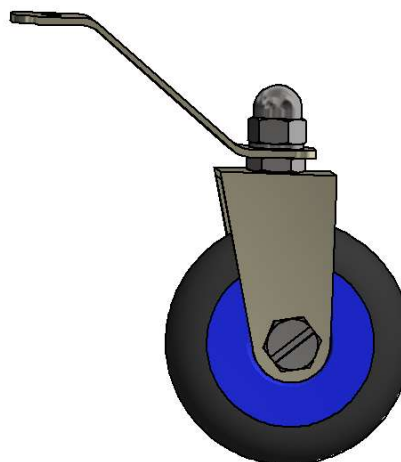
Mez kluzu - $R_{p0,2} = 240 \text{ MPa}$

Ťažnosť - $A_5 = 10 \%$

Polotovár

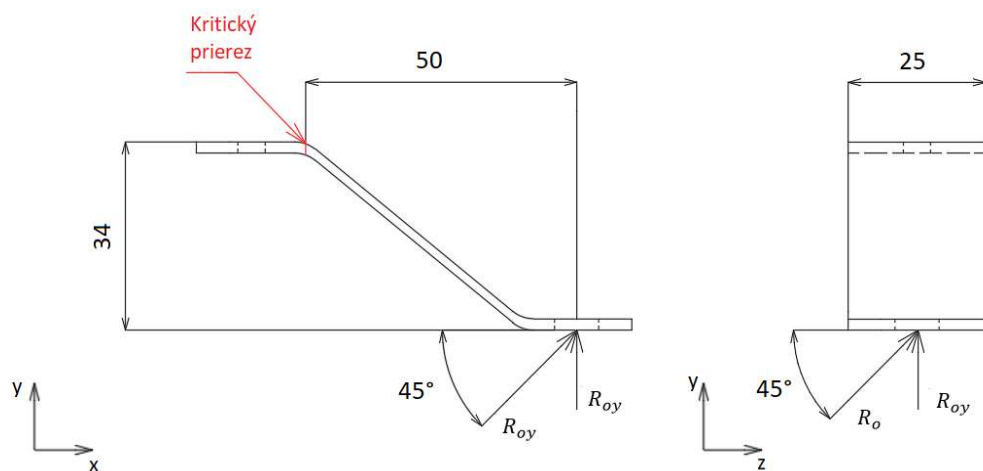
Duralový pás o rozmeroch

$a = 45 \text{ mm}$, $b = 1000 \text{ mm}$, $c = 4 \text{ mm}$



Obr. 7.1 Model ostrohového kolesa

V upevnení ostrohového kolesa zvažujeme, že časť pripojená k trupu je na pevno. Smery pôsobiacich síl zvažujeme z predošlej kapitoly „Zaťaženie ostrohového kolesa“. V tomto prípade ide teda o staticky určitú úlohu.



Obr. 7.2 Sily pôsobiace na konštrukciu ostrohového kola

$$R_{oy} = 121,19 \text{ N}$$

$$R_o = 12,41 \text{ N}$$

$$\text{os x: } R_{oy} \cdot \cos \alpha = 85,69 \text{ N} \quad (7.2.1)$$

$$\text{os y: } R_{oy} + 2 \cdot R_{oy} \cdot \sin \alpha = 292,58 \text{ N} \quad (7.2.2)$$

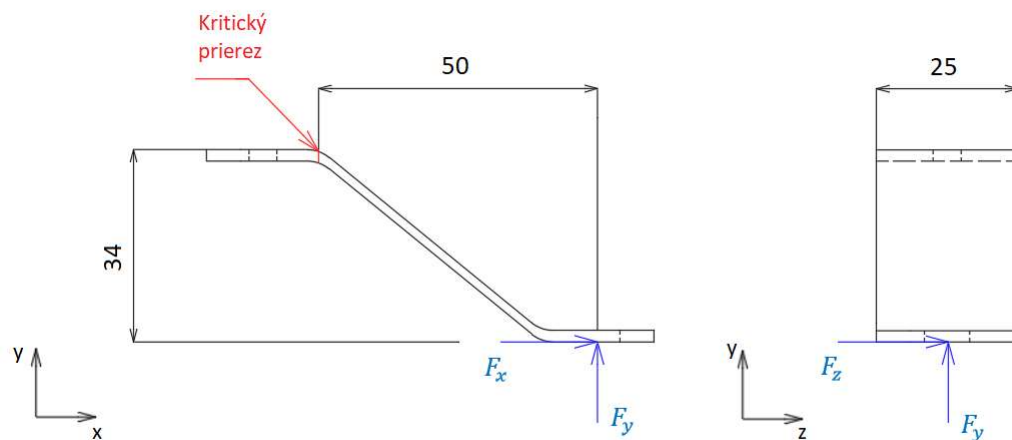
$$\text{os z: } R_o \cdot \cos \alpha = 8,77 \text{ N} \quad (7.2.3)$$

Riešením je

$$F_x = 85,69 \text{ N}$$

$$F_y = 292,58 \text{ N}$$

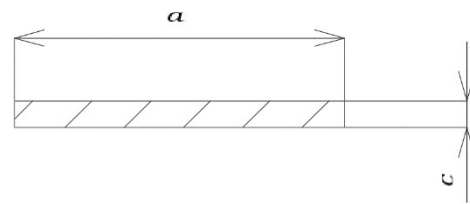
$$F_z = 8,77 \text{ N}$$



Obr. 7.3 Výsledné sily pôsobiace na konštrukciu

Kontrola v priereze

Prierez celej časti pásnice je konštantný.



Obr. 7.4 Priechny prierez pásnice
ostrohového kola

Plocha prierezu:

$$S = a \cdot c = 50 \text{ mm}^2 \quad (7.2.4)$$

Kvadratický osový moment

k osi z

$$J_z = \frac{a \cdot c^3}{12} = 240 \text{ mm}^4 \quad (7.2.5)$$

k osi y

$$J_y = \frac{c \cdot a^3}{12} = 30\,375 \text{ mm}^4 \quad (7.2.6)$$

Modul odporu

$$W_k = \frac{a^2 \cdot c^2}{3 \cdot a + 1,8 \cdot c} = 227,85 \text{ mm}^3 \quad [14] \quad (7.2.7)$$

Pôsobiacie ohybové momenty

$$M_{oz} = F_y \cdot 50 + F_x \cdot 34 = 17\,542,46 \text{ Nmm} \quad (7.2.8)$$

$$M_{oy} = F_z \cdot 50 = 438,5 \text{ Nmm} \quad (7.2.9)$$

Krútiaci moment

$$M_k = F_z \cdot 34 = 298,18 \text{ Nmm} \quad (7.2.10)$$

Normálové napätie od ohybu

$$\sigma_{o1} = \frac{M_{oz}}{J_z} \cdot \frac{c}{2} = 146,19 \text{ MPa} \quad (7.2.11)$$

$$\sigma_{o2} = \frac{M_{oy}}{J_y} \cdot \frac{a}{2} = 0,325 \text{ MPa} \quad (7.2.12)$$

Celkové ohybové napätie

$$\sigma_o = \sigma_{o1} + \sigma_{o2} = 146,52 \text{ MPa} \quad (7.2.13)$$

Normálové napätie v ťahu

$$\sigma_t = \frac{F_x}{S} = 0,1752 \text{ MPa} \quad (7.2.14)$$

Smykové napätie od krutu

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = 1,31 \text{ MPa} \quad (7.2.15)$$

Smykové napätie od posúvajúcej sily

$$\tau_t = \frac{3 \cdot F_y}{2 \cdot S} = 8,78 \text{ MPa} \quad (7.2.16)$$

Redukované napätie

$$\sigma_{Red} = \sqrt{(\sigma_o + \sigma_t)^2 + 4(\tau_t + \tau_k)^2} = 148,08 \text{ MPa} \quad (7.2.17)$$

Súčiniteľ rezervy

$$K_z = \frac{R_{p0,2}}{\sigma_{Red}} = \frac{240}{148,08} = 1,62 \quad (7.2.18)$$

7.2.2 Pevnostný výpočet hlavného podvozku

Fyzikálne vlastnosti použitého materiálu

Základný materiál AlCu4Mg1 (ČSN 42 4203)

Mez pevnosti - $R_m = 400 \text{ MPa}$

Mez kluzu - $R_{p0,2} = 270 \text{ MPa}$

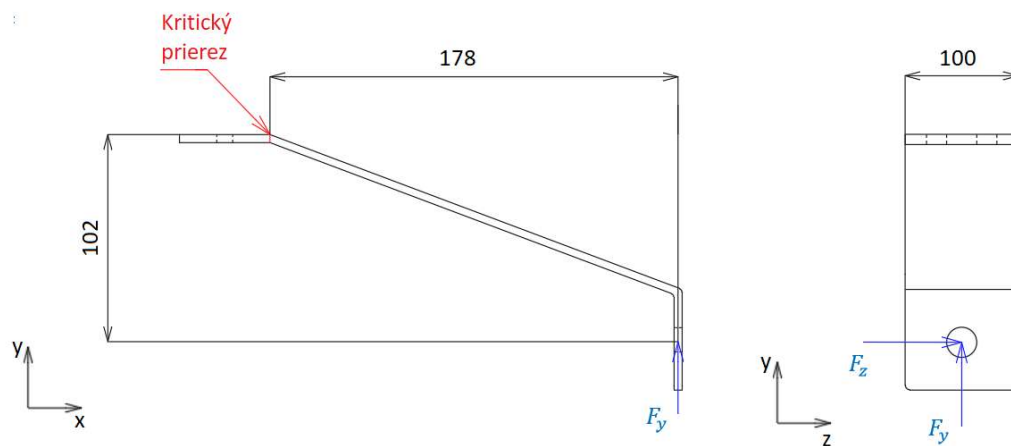
Ťažnosť - $A_5 = 10 \%$ [11]

Polotovary

Superduralový pás o rozmeroch $a = 100 \text{ mm}$, $b = 1000 \text{ mm}$, $c = 15 \text{ mm}$

Rovnako ako v upevnení ostrohového kolesa tak aj pri hlavnom podvozku zvažujeme, že časť pripojená v gondole modelu je na pevno.

a.) Pristátie na dva body



Obr. 7.5 Sily pôsobiace pri pristáti na 2 body

$$F_z = R_x = 1349,71 \text{ N}$$

$$F_y = R_y = 5306,82 \text{ N}$$

Plocha prierezu:

$$S = a \cdot c = 1500 \text{ mm}^2 \quad (7.2.19)$$

Kvadratický osový moment

k osi z

$$J_z = \frac{a \cdot c^3}{12} = 28\,125 \text{ mm}^4 \quad (7.2.20)$$

$$J_y = \frac{c \cdot a^3}{12} = 1\,250\,000 \text{ mm}^4 \quad (7.2.21)$$

Modul odporu

$$W_k = \frac{a^2 \cdot c^2}{3 \cdot a + 1,8 \cdot c} = 6880,74 \text{ mm}^3 \quad [14] \quad (7.2.22)$$

Pôsobiacie ohybové momenty

$$M_{oz} = F_y \cdot 178 = 944\,613,69 \text{ Nmm} \quad (7.2.23)$$

$$M_{oy} = F_z \cdot 178 = 240\,248,38 \text{ Nmm} \quad (7.2.24)$$

Krútiaci moment

$$M_k = F_z \cdot 102 = 137\,670,42 \text{ Nmm} \quad (7.2.25)$$

Normálové napätie od ohybu

$$\sigma_{o1} = \frac{M_{oz}}{J_z} \cdot \frac{c}{2} = 251,90 \text{ MPa} \quad (7.2.26)$$

$$\sigma_{o2} = \frac{M_{oy}}{J_y} \cdot \frac{a}{2} = 9,61 \text{ MPa} \quad (7.2.27)$$

Celkové ohybové napätie

$$\sigma_o = \sigma_{o1} + \sigma_{o2} = 261,11 \text{ MPa} \quad (7.2.28)$$

Smykové napätie od krutu

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = 20,01 \text{ MPa} \quad (7.2.29)$$

Smykové napätie od posúvajúcej sily

$$\tau_t = \frac{3 \cdot F_y}{2 \cdot S} = 5,31 \text{ MPa} \quad (7.2.30)$$

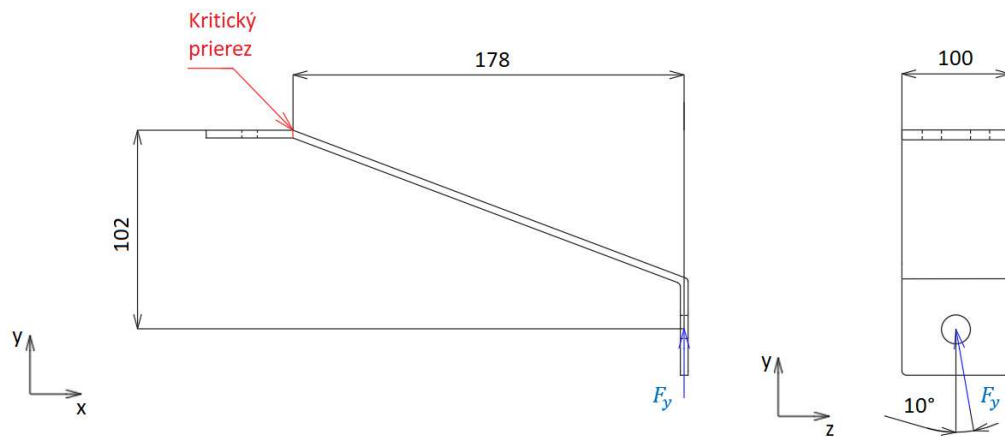
Redukované napätie

$$\sigma_{Red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 4(\tau_t + \tau_k)^2} = 266,38 \text{ MPa} \quad (7.2.31)$$

Súčiniteľ rezervy

$$K_z = \frac{R_{p0,2}}{\sigma_{Red}} = \frac{270}{266,38} = 1,02 \quad (7.2.32)$$

b.) Pristátie na tri body



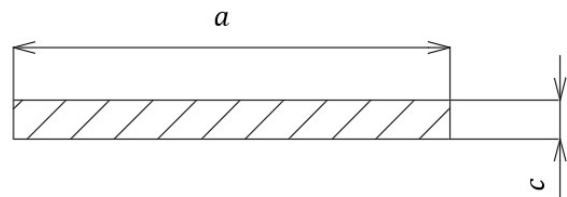
Obr. 7.6 Sily pôsobiace pri pristátí na 3 body

$$F_y = R_{hy} = 1220,52 \text{ N}$$

Silu F_y je nutné pri počítaní rozložiť na vektor v smere osy y a osy z. Rozklad je prevedený pod uhlom $\alpha = 10^\circ$

Kontrola v priereze

Prierez celej časti pásnice je konštantný.



Obr. 7.7 Priecny prierez pasnice naviaceno podvozku

Plocha prierezu:

$$S = a \cdot c = 1500 \text{ mm}^2 \quad (7.2.33)$$

Kvadratický osový moment

$$J_z = \frac{a \cdot c^3}{12} = 28\,125 \text{ mm}^4 \quad (7.2.34)$$

$$J_y = \frac{c \cdot a^3}{12} = 1\,250\,000 \text{ mm}^4 \quad (7.2.35)$$

Modul odporu

$$W_k = \frac{a^2 \cdot c^2}{3 \cdot a + 1,8 \cdot c} = 6880,74 \text{ mm}^3 \quad [14] \quad (7.2.36)$$

Pôsobiacie ohybové momenty

$$M_{oz} = F_y \cdot \cos\alpha \cdot 178 = 213\,952,01 \text{ Nmm} \quad (7.2.37)$$

$$M_{oy} = -F_y \cdot \sin\alpha \cdot 178 = 37\,725,51 \text{ Nmm} \quad (7.2.38)$$

Krútiaci moment

$$M_k = F_y \cdot \sin\alpha \cdot 102 = 21\,617,99 \text{ Nmm} \quad (7.2.39)$$

Normálové napätie od ohybu

$$\sigma_{o1} = \frac{M_{oz}}{J_z} \cdot \frac{c}{2} = 57,05 \text{ MPa} \quad (7.2.40)$$

$$\sigma_{o2} = \frac{M_{oy}}{J_y} \cdot \frac{a}{2} = 1,51 \text{ MPa} \quad (7.2.41)$$

Celkové ohybové napätie

$$\sigma_o = \sigma_{o1} + \sigma_{o2} = 58,56 \text{ MPa} \quad (7.2.42)$$

Smykové napätie od krutu

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = 3,14 \text{ MPa} \quad (7.2.43)$$

Smykové napätie od posúvajúcej sily

$$\tau_t = \frac{3 \cdot F_y \cdot \cos\alpha}{2 \cdot S} = 0,212 \text{ MPa} \quad (7.2.44)$$

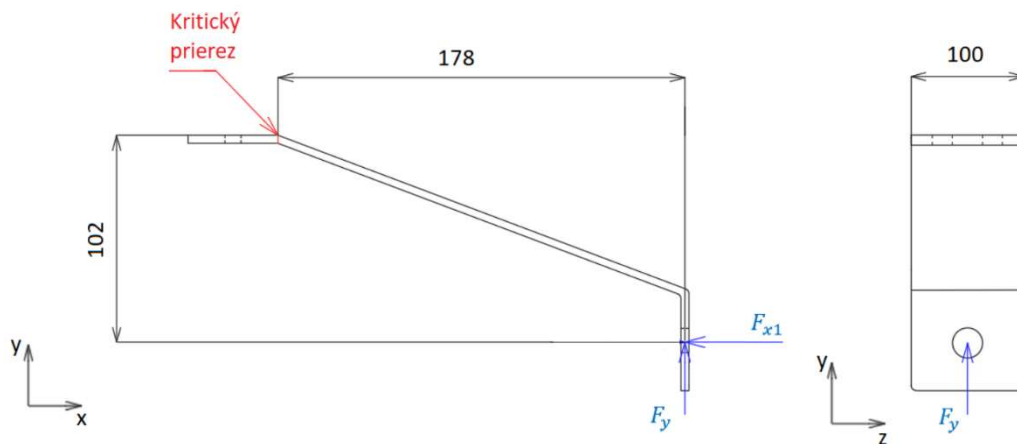
Redukované napätie

$$\sigma_{Red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 4(\tau_t + \tau_k)^2} = 58,94 \text{ MPa} \quad (7.2.45)$$

Súčiniteľ rezervy

$$K_z = \frac{R_{p0,2}}{\sigma_{Red}} = \frac{270}{58,94} = 4,58 \quad (7.2.46)$$

c.) Bezpečnosť voči bočnému zaťaženiu



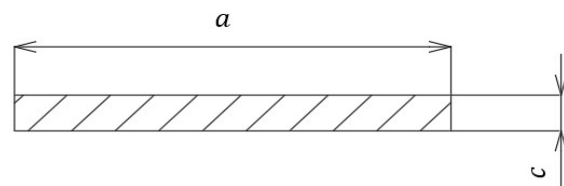
Obr. 7.8 Sily pôsobiace pri bočnom zaťažení

$$F_y = R_{by} = 91,33 \text{ N}$$

$$F_{x1} = R_{z1} = 68,67 \text{ N}$$

Kontrola v priereze

Prierez celej časti pásnice je konštantný.



Obr. 7.9 Priechny prierez pásnice hlavného podvozku

Plocha prierezu:

$$S = a \cdot c = 1500 \text{ mm}^2 \quad (7.2.47)$$

Kvadratický osový moment

$$J_z = \frac{a \cdot c^3}{12} = 28\,125 \text{ mm}^4 \quad (7.2.48)$$

$$J_y = \frac{c \cdot a^3}{12} = 1\,250\,000 \text{ mm}^4 \quad (7.2.49)$$

Modul odporu

$$W_k = \frac{a^2 \cdot c^2}{3 \cdot a + 1,8 \cdot c} = 6880,74 \text{ mm}^3 \quad [14] \quad (7.2.50)$$

Pôsobiace ohybové momenty

$$M_{oz} = F_y \cdot 178 - F_{x1} \cdot 102 = 9252,4 \text{ Nmm} \quad (7.2.51)$$

Normálové napätie od ohybu

$$\sigma_{o1} = \frac{M_{oz}}{J_z} \cdot \frac{c}{2} = 2,47 \text{ MPa} \quad (7.2.52)$$

Smykové napätie od posúvajúcej sily

$$\tau_t = \frac{3 \cdot F_y}{2 \cdot S} = 0,09 \text{ MPa} \quad (7.2.53)$$

Redukované napätie

$$\sigma_{Red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 4 \cdot \tau_t^2} = 2,48 \text{ MPa} \quad (7.2.54)$$

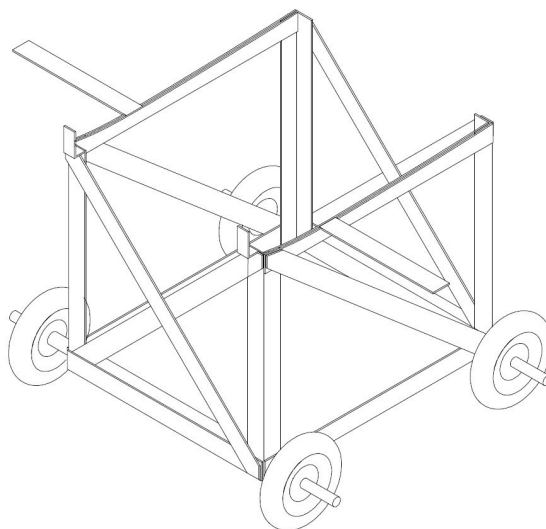
Súčiniteľ rezervy

$$K_z = \frac{R_{p0,2}}{\sigma_{Red}} = \frac{270}{2,48} = 108,47 \quad (7.2.55)$$

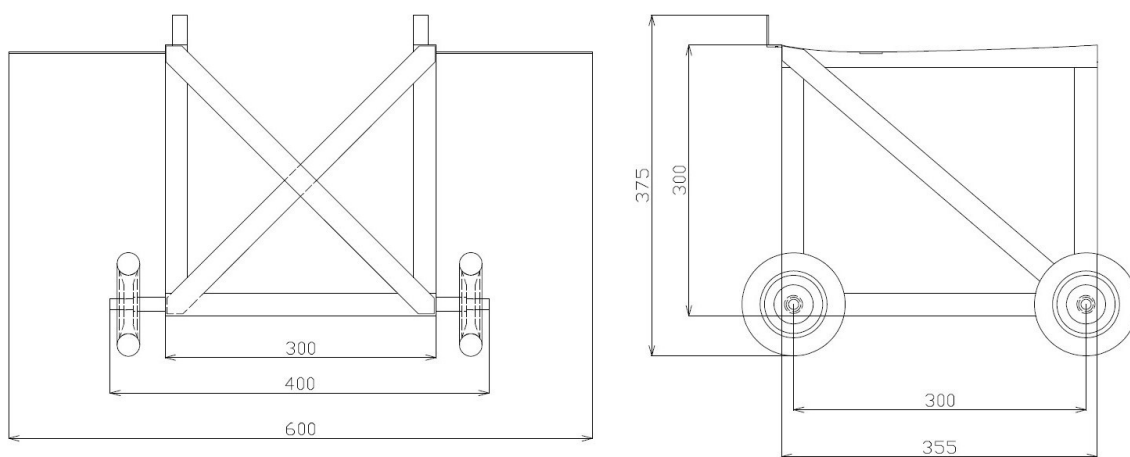
8. ZÁVER

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo navrhnuť vhodný podvozok súťažného modelu lietadla. Navrhnutá bola jedna verzia ostroho podvozku, ktorá bola pevnostne nadimenzovaná a numericky spočítaná. Pre potreby tímu ChickenWings však nakoniec tento model pristávacieho podvozku bude využitý len pri zalietavacích letoch pred súťažou.

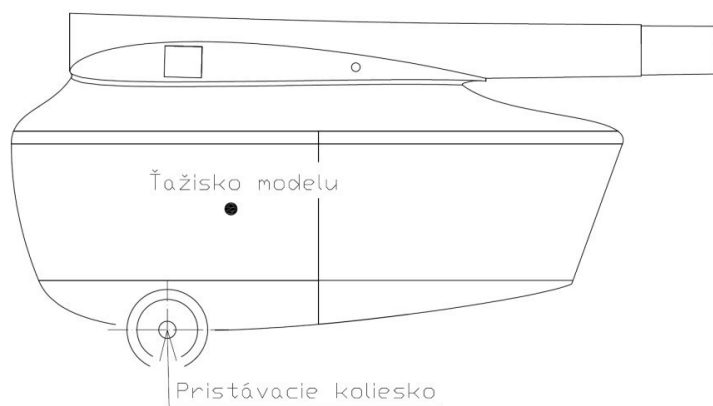
Pre potreby súťaže bude zostrojený štartovací vozíček. Dôvodom jeho výroby je zníženie hmotnosti lietadla natoľko, aby sme mohli prepraviť čo najväčšiu záťaž. Teda po odstránení podvozku z lietadla, znížime hmotnosť a tým pádom môžeme naopak navýšiť hmotnosť prevážanej záťaže. Pristátie bude riešené pomocou pristávacieho kolesa, ktoré bude uložené v tele gondoly, teda nákladného priestoru modelu.



Obr. 8.1 Štartovací vozíček



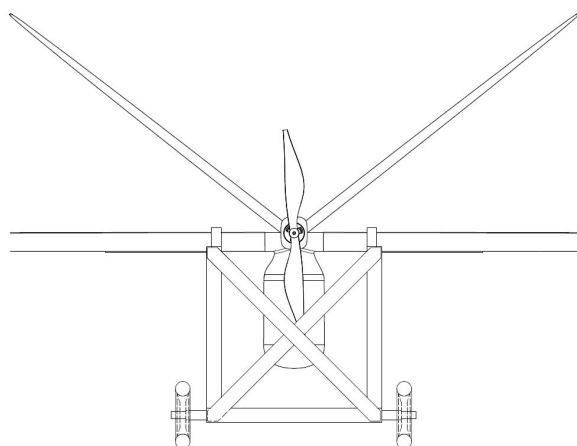
Obr. 8.2 Základné parametre štartovacieho vozíčka



Obr. 8.3 Pristávacie koliesko umiestnené v gondole



Obr. 8.4 3D model gondoly



Obr. 8.5 Uloženie lietadla na vozíčku

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] ROSKAM, Jan. Airplane Design. Ottawa, Kansas: Roskam Aviation and Engeneering corporation, 1985. 2492 s.
- [2] PAZMANY, Ladislao. Landing gear design for light aircraft. San Diego, Calif.: Pazmany Aircraft, 1986. ISBN 09-616-7770-8.
- [3] BARTONĚK, J. Návrh zatahovacího podvozku pro letoun NG4. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 51 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Vladimír Matěják
- [4] CHREN, T. Návrh podvozku pro letoun Rapid 600. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 66 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Antonin Pištěk, CSc.
- [5] Regulations for Air Cargo Challenge 2019 in Stuttgart (European edition) [online]. Verzia 1.02.2018 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <http://www.euroavia.de/ACC/documents/regulation.pdf>
- [6] DUŠAN SLAVĚTÍNSKÝ, Dušan. O letadlech [online]. [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: http://www.slavetind.cz/stavba/koncepce/Koncepce_prist_zar.aspx
- [7] CERTIFIKAČNÍ SPECIFIKACE PRO LETOUNY KATEGORIE NORMÁLNÍ, CVIČNÁ, AKROBATICKÁ A PRO SBĚRNOU DOPRAVU: CS-23 [online]. [cit. 2019-05-1]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/file/6289/>
- [8] TROJÁNEK, T. Návrh podvozku malého dvoumístného letounu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 72 s. Vedoucí diplomové práce Ing. František Vaněk, Ph.D..
- [9] MARCINKO, P. Návrh řízeného příďového podvozku pro letoun PS-28 Cruiser. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 62 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Tomáš Katrňák.
- [10] BOROVIČKA, P. Konstrukce podvozku pro letecké RC modely. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2009. 62 s. Vedoucí diplomové práce Ing. David Sámek Ph.D.
- [11] OLŠANSKÝ, Oldřich a Jiří MATĚJČEK. Konstrukce a výpočet ultralehkých letounů. Praha: Letecká amatérská asociace ČR, 1999
- [12] ČAVOJSKÝ, Tomáš. Koncepční návrh soutěžního modelu letadla. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116745>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav. Vedoucí práce Jan Pejchar.
- [13] BEDNÁŘ, Peter. Návrh trupu soutěžního modelu letadla [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116635>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav. Vedoucí práce Tomáš Hájek.

- [14] Základní technické informace [online]. Dostupné z:

[https://www.ehlinik.cz/prilohy/zakladni-technicke-informace.pdf?fbclid=IwAR3lCzcQ-](https://www.ehlinik.cz/prilohy/zakladni-technicke-informace.pdf?fbclid=IwAR3lCzcQ-KaGPrzowo1WWvX9Xl3hSCmhib4oqE7a-uPCtFw0zTGZXfSn0po)

[KaGPrzowo1WWvX9Xl3hSCmhib4oqE7a-uPCtFw0zTGZXfSn0po](https://www.ehlinik.cz/prilohy/zakladni-technicke-informace.pdf?fbclid=IwAR3lCzcQ-KaGPrzowo1WWvX9Xl3hSCmhib4oqE7a-uPCtFw0zTGZXfSn0po)

- [15] ČTVERÁK, J., MERTL, V. a PÍŠTĚK, A. Soubor podkladů pro pevnostní výpočty leteckých konstrukcí. Brno, VUT Brno - Letecký ústav, 1997.
- [16] Douglas C-39 Military Transport Aircrafts [online]. [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <http://www.airpowerworld.info/transport-aircraft/douglas-c-39.htm>
- [17] PC-7 Military Trainer [online]. [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://www.goaviator.com/flight/pilatus-pc-7-flight>
- [18] South West Aviation photographers [online]. [cit. 2019-05-4]. Dostupné z: <https://www.swaviaphoto.co.uk/raf-fairford-exercise-ample-strike-2016/>

ZOZNAM JEDNOTIEK, SKRATIEK A ZNAKOV

Označenie	Jednotka	Názov
ACC		Air Cargo Challenge
RC		radio control
m		meter
ft		palec
ft^2		štvorcová stopa
kg		kilogram
lb		libra
s		sekunda
J		joul
N		newton
M	[kg]	hmotnosť
M	[lb]	hmotnosť
S	[m^2]	plocha
S	[ft^2]	plocha
v_y	[ms^{-1}]	rýchlosť klesania
L	[N]	vztlak
y_{PN}	[m]	stlačiteľnosť pneumatiky
y_{PT}	[m]	stlačiteľnosť tlmiča
y	[m]	celkové stlačenie
η		súčiniteľ stlačiteľnosti
y_{ef}	[m]	súčiniteľ efektívneho tlmenia
n_p		násobok od silového zaťaženia podvozku
n_{pr}		prevádzkový násobok silového zaťaženia
E_k	[J]	kinetická energia
E_p	[J]	potenciálna energia
E_C	[J]	celková energia
g	[ms^{-2}]	gravitačné zrýchlenie
G	[N]	gravitačná sila
F_{hl}	[N]	sila v hlavnom podvozku
F_o	[N]	sila v ostrohe
l	[m]	celková vzdialenosť

l_n	[m]	
l_o	[m]	
R_x	[N]	silová reakcia v osi x
R_y	[N]	silová reakcia v osi y
R_{hy}	[N]	silová reakcia v hlavnom podvozku
R_{oy}	[N]	silová reakcia v ostrohe
R_{by}	[N]	silová reakcia pri bočnom zaťažení v osi y
R_{z1}	[N]	bočné zaťaženie v smere dnu
R_{z2}	[N]	bočné zaťaženie v smere von
R_m	[MPa]	mez pevnosti v ťahu
$R_{p0,2}$	[MPa]	mez kluzu
A_5	[%]	ťažnosť
J_P	[mm ⁴]	polárny kvadratický moment
J_y	[mm ⁴]	osový kvadratický moment
M_o	[Nm]	ohybový moment
M_k	[Nm]	krútiaci moment
σ_o	[MPa]	ohybové napätie
σ_t	[MPa]	normálové napätie
τ_k	[MPa]	smykové napätie
τ_t	[MPa]	normálové napätie v ťahu
W_k	[mm ³]	modul odporu
σ_{Red}	[MPa]	redukované napätie
K_z	[—]	súčiniteľ rezervy

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1.1 Rozmery prepravného boxu [5]	14
Obr. 1.2 Letový plán [5]	14
Obr. 1.3 Model súťažného lietadla	15
Obr. 1.4 Muška lietadla (predný pohľad - upravené) [12]	16
Obr. 1.5 Muška lietadla (pohľad z vrchu) [13]	16
Obr. 1.6 Muška lietadla (pohľad z boku - upravené) [12]	16
Obr. 3.1 Lietadlo s ostrohovým kolesom C-39 [16]	18
Obr. 3.2 Podvozok predného typu PC-7 [17]	19
Obr. 3.3 Tandemový podvozok B-52 [18]	19
Obr. 4.1 Typy zasunutia podvozku [4]	20
Obr. 4.2 Zasúvanie predného podvozku [4]	21
Obr. 4.3 Zasúvanie hlavného podvozku [4]	21
Obr. 4.4 Ďalšie možnosti zasúvania hlavného podvozku [4]	22
Obr. 6.1 Pristátie na dva body (upravené) [12]	27
Obr. 6.2 Kontrola vzdialenosti vrtule (upravené) [12]	27
Obr. 6.3 Pristátie na tri body (upravené) [12]	28
Obr. 6.4 Pôsobenie síl bočného zaťaženia	29
Obr. 6.5 Zaťaženie na ostrohové koleso	29
Obr. 6.6 Bočné zaťaženie na ostrohové koleso	30
Obr. 7.1 Model ostrohového kolesa	31
Obr. 7.2 Sily pôsobiace na konštrukciu ostrohového kolesa	32
Obr. 7.3 Výsledné sily pôsobiace na konštrukciu	32
Obr. 7.4 Pričný prierez pásnice ostrohového kolesa	33
Obr. 7.5 Sily pôsobiace pri pristáti na 2 body	35
Obr. 7.6 Sily pôsobiace pri pristáti na 3 body	37
Obr. 7.7 Pričný prierez pásnice hlavného podvozku	37
Obr. 7.8 Sily pôsobiace pri bočnom zaťažení	39
Obr. 7.9 Pričný prierez pásnice hlavného podvozku	39
Obr. 8.1 Štartovací vozíček	41
Obr. 8.2 Základné parametre štartovacieho vozíčka	41
Obr. 8.3 Pristávacie koliesko umiestnené v gondole	42
Obr. 8.4 3D model gondoly	42
Obr. 8.5 Uloženie lietadla na vozíčku	42